

Engenharia de Telecomunicações e Informática
Sistemas de Comunicação Sem Fios e Móvel

Planeamento Celular

De

Uma Rede 4G

Grupo 21

João Rabuge | 98509

Tiago Felício | 99213

Docente:

Américo Manuel Carapeto Correira

Ano curricular: 3º

Semestre: 2º Semestre

2022/23

Índice

Acrónimos e Siglas utilizadas	3
1 Introdução.....	4
2 Planeamento.....	5
3 Análise e Discussão.....	6
3.1 Perdas de Propagação	6
3.2 Fator de Geometria	7
4 Simulação	8
5 Fator de Throughput.....	9
6 Cobertura.....	12
7 Zonas Mortas e Zonas de Bloqueio.....	14
7.1 Zonas Mortas	14
7.2 Zonas de Bloqueio	15
8 Conclusão	16
9 Bibliografia	17
10 Anexos	18
10.1 Anexo A – Escolha de BS's	18
10.2 Anexo B – Estudo Zonas Mortas.....	19
10.3 Anexo C – Estudo Zonas de Bloqueio.....	20

Acrónimos e Siglas utilizadas

eMBMS – Evolved Multimedia Broadcast Multicast Service

LTE-A – Long Term Evolution Advanced

R_b – Ritmo Binário

BS – Estações de Base

SINR – Signal to Interference & Noise Ratio

G – Fator Geometria

I_{or} – Interferência na própria célula

I_{oc} – Interferência total das células vizinhas

P_n – Potência de ruído branco gaussiano

E_c – Energia portadora que leva o sinal

I_{or} – Interferência na célula (perda de ortogonalidade)

L_{prop} – Perdas de propagação

1 Introdução

Este projeto tem como objetivo a necessidade de se realizar o **desenvolvimento da rede de rádio** para a zona de Lisboa em torno do ISCTE-IUL, para um operador de **telecomunicações móveis de 4G**.

Tendo nos sido atribuído o **grupo 21**, ficou decidido que se pretende implementar **serviço eMBMS** usando a tecnologia **LTE-A** com ritmos binários de:

- **A1 = 156 Kbit/s**
- **B1 = 616 Kbit/s**
- **C1 = 1512 Kbit/s**

Existindo um total de **8 BS** neste projeto sendo que **3 comunicam com cada móvel (existem 3 ligações de rádio entre BS e os móveis)**, e atendendo às informações já referidas, foi possível realizar a *Tabela 1*.

Canal (R_b) [Kbit/s]	A1 = 156	B1 = 616	C1 = 1512
Pedestre B 3 Km/h [dB]	-12.26	-8.33	-5.57
Veicular A 30 Km/h [dB]	-13.86	-9.83	-7.07

Tabela 1 – Características e valores do projeto, para o grupo 21.

Neste projeto será analisado com base em **mapas com a distribuição global** e por **célula** de:

- **SINR**
- **Cobertura**
- **Throughput**

E por fim, irá ser analisado tendo em conta um **$R_b = 64$ Kbit/s** e que **4** das 8 BS são de outro **operador móvel**:

- **Zonas Mortas**
- **Zonas de Bloqueio**

2 Planeamento

Primeiramente para a realização da simulação, é necessário a **escolha dos locais das 8 BS** na zona de Lisboa ao torno do ISCTE-IUL. Sabe-se que se deve colocar as BS nas **zonas mais interiores do mapa** da *Figura 1* e que se deve **evitar as zonas sem coberturas no mapa**.

No *Anexo A – Escolha de BS's*, é possível observar o estudo para a escolha das **8 posições** para as BS's. As posições **escolhidas paras as BS's** são as apresentadas na *Figura 1*.

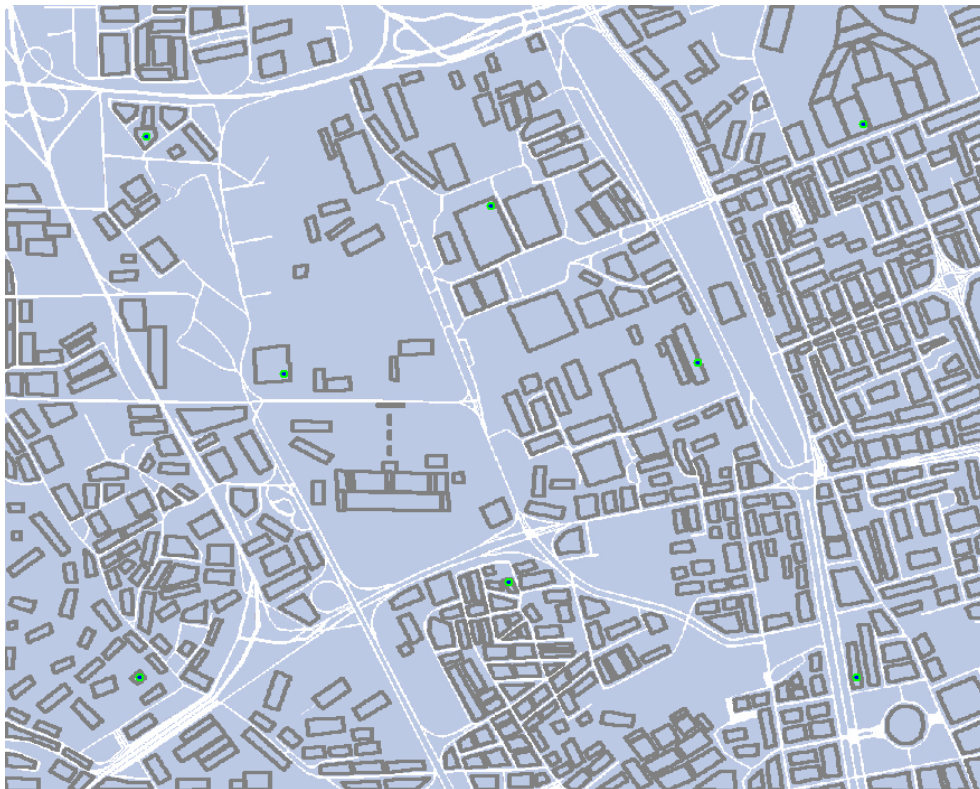


Figura 1 – Mapa da zona de Lisboa em redor ao ISCTE-IUL com os BS do grupo 21.

3 Análise e Discussão

3.1 Perdas de Propagação

Primeiramente, para se verificar se as **estações (BS's)**, foram colocados em zonas onde as **perdas de propagação** são **razoáveis**, correu-se no simulador *LTE Simulator*. Quanto **mais clara** for a cor na *Figura 2*, **melhor será a cobertura**.

É possível observar que existe **uma boa cobertura** na zona de Lisboa em torno do ISCTE-IUL, sendo por isso possível efetuar **handover** entre células.

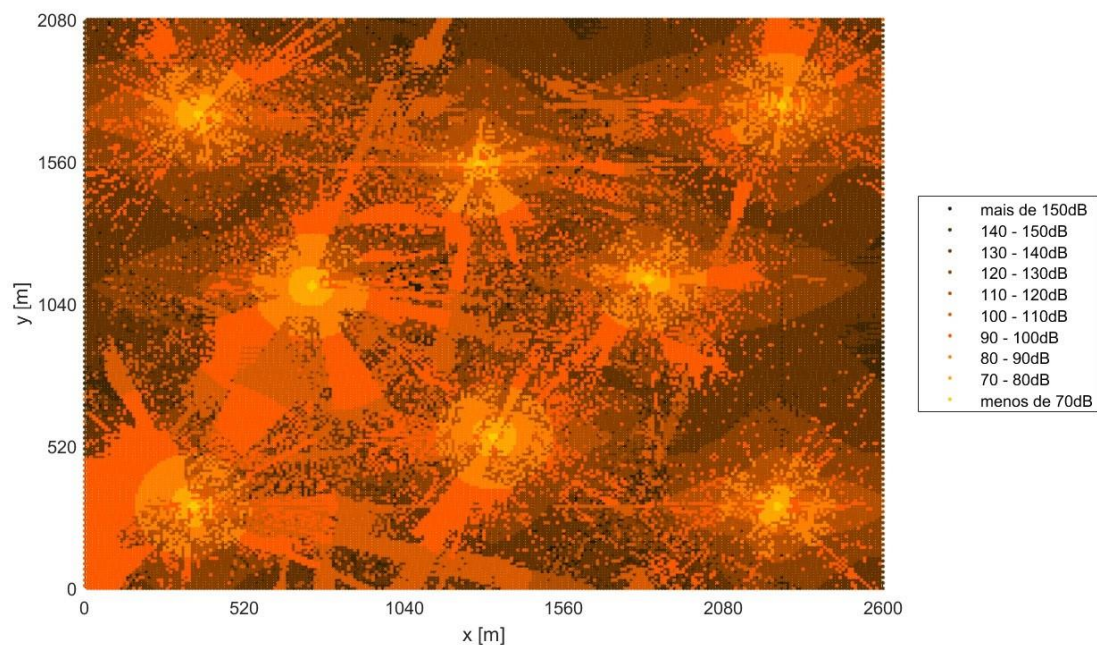


Figura 2 –Perdas de Propagação do grupo 21.

3.2 Fator de Geometria

Foi possível realizar o cálculo do **fator de geometria** através da *Fórmula 1 e 2*.

$$G = \frac{I_{or}}{I_{oc} + P_n} [\text{Lineares}]$$

Fórmula 1 – Fórmula para cálculo de fator geometria em unidades lineares.

$$G = 10 \log(I_{or}) - (10 \log(I_{oc} + P_n)) [\text{dB}]$$

Fórmula 2 – Fórmula para cálculo de fator geometria em unidades logarítmicas.

Após observação da *Fórmula 1 e 2*, conseguimos observar que:

- Quanto **maior** for o **fator geometria (G)**, **mais próximos** estamos do **centro da célula**.
- Quanto **menor** for o **fator geometria (G)**, **mais afastados** estamos do **centro da célula (mais próximos da fronteira)**.

Este facto acima descrito, é possível de observar na *Figura 3*.

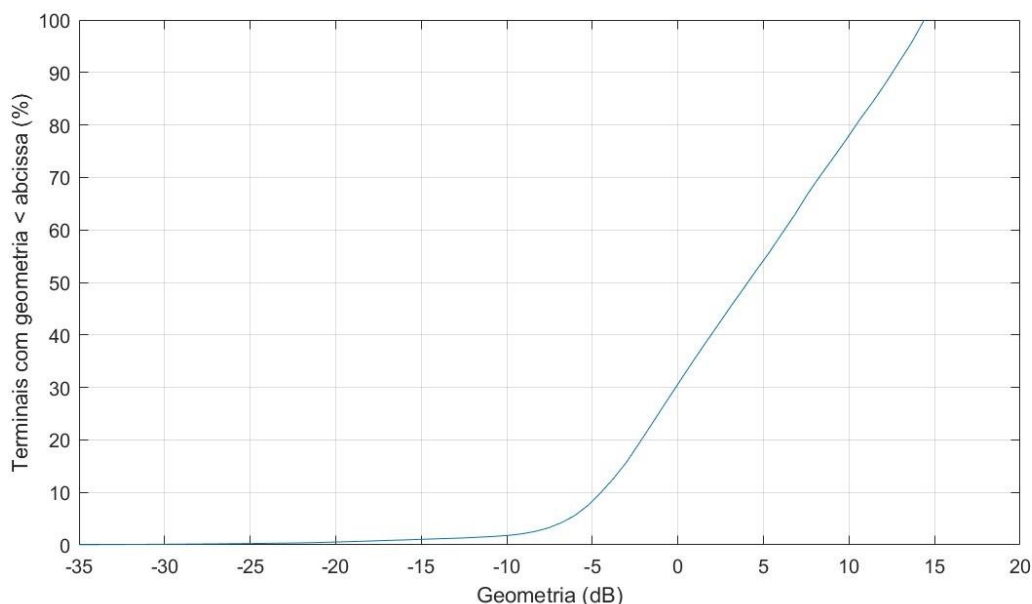


Figura 3 – Fator de Geometria do grupo 21.

Através da *Figura 3*, é possível observar que cerca de **20% dos utilizadores** se encontram **perto da fronteira entre duas células (-3 dB e -6 dB entre 3 células)**. Já para um **fator de geometria de 10 dB**, onde o utilizador se encontra bastante perto da estação base, cerca de **20% dos utilizadores encontram-se aí**. O **fator geometria nunca ultrapassa os 15 dB**.

4 Simulação

Para a realização deste projeto, foi necessário a realização de **3 simulações**, onde cada uma destas se considerava uma **ligação pedestre de 3 Km/h** e uma **veicular de 30 Km/h**. Cada ligação tem **ritmos binários** diferentes, os valores utilizados na simulação estão presentes na *Tabela 2*.

Parâmetro	Valor
Simulation Time [s]	600
Number of Mobile Devices [número]	900
Bit Rate [Kbit/s]	156; 616 e 1512
TTI [ms]	80

Tabela 2 – Parâmetros utilizados no simulador, para o grupo 21.

Nas simulações que serão realizadas, vai ser possível observar que os gráficos que vão ser gerados vão ser da **energia portadora que leva o sinal em função da interferência na célula (E_c/I_{or})**.

5 Fator de Throughput

Este **fator de throughput**, é o fator que vai analisar o **desempenho da ligação**, por outras palavras, é o fator que analisa a **quantidade de dados processados num dado período de tempo**.

É possível saber que:

- Quanto **maior** for a relação E_c/I_{or} , **maior será o fator throughput**, portanto, quanto **menor** for a **interferência na célula I_{or}** , **melhor será o desempenho** do sistema.

Nas *Figuras 4,5 e 6* é possível observar os **gráficos de throughput** para os **diferentes ritmos binários** definidos.

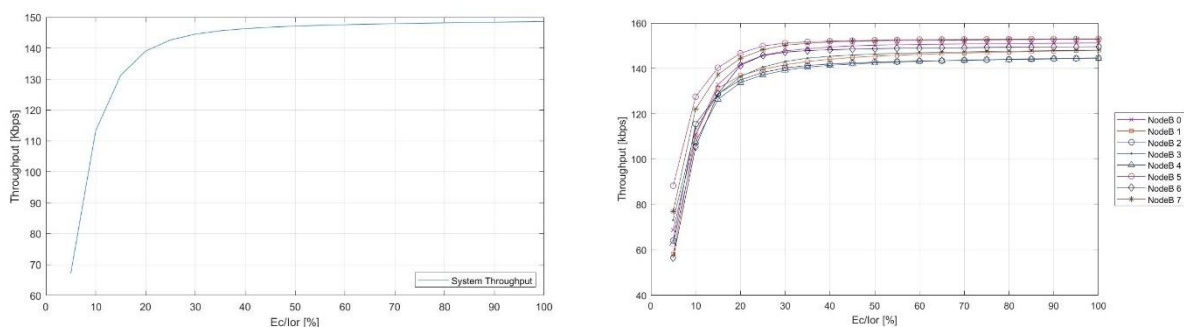


Figura 4 –Gráficos Throughput para Ritmo Binário de 156 Kbit/s (A1).

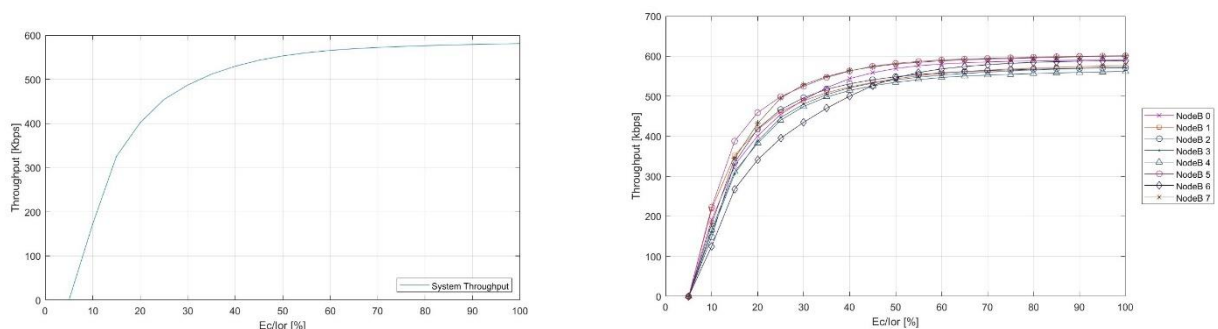


Figura 5 –Gráficos Throughput para Ritmo Binário de 616 Kbit/s (B1).

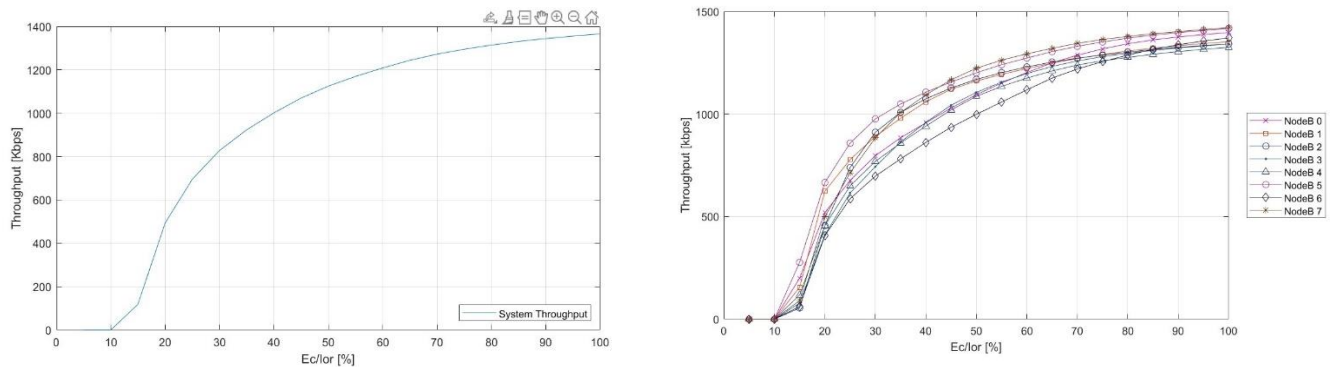


Figura 6 –Gráficos Throughput para Ritmo Binário de 1512 Kbit/s (C1).

Consegue concluir-se assim também que as **BS's 5 e 7** são as que **mais throughput produzem** em média em todas as simulações e as **BS's 2 e 4** são as que **menos throughput produzem** em média em todas as simulações.

Através da observação das *Figuras 4,5 e 6* foi possível a realização da *Tabela 3* com os **valores de throughput** consoante a percentagem da relação E_c/I_{or} . Quanto **maior o ritmo binário, menor o throughput**.

E_c/I_{or} [%]	Ritmo Binário [Kbit/s]		
	156	616	1512
20	139.058	401.863	493.534
40	146.32	529.618	1001.43
60	147.607	565.559	1208.7
80	148.194	576,202	1314.37
100	148.615	581.077	1365.99

Tabela 3 – Valores de Throughput, para o grupo 21.

Através da *Tabela 3*, é possível realizar a *Tabela 4*, demonstrando a **eficiência do throughput** para cada ritmo binário.

Throughput	Ritmo Binário [Kbit/s]		
	156	616	1512
Valor Máximo [Kbit/s]	148.615	581.077	1365.99
Eficiência [%]	95.26	94.33	90.34

Tabela 4 – Eficiência de Throughput, para o grupo 21.

6 Cobertura

Este **fator de cobertura**, é o fator que vai analisar se a **localização das BS's é correta** para cobrir a área em redor ao **ISCTE-IUL**

É possível saber que:

- Quanto **maior** for a relação E_c/I_{or} , **maior será o fator cobertura**, portanto, quanto **menor** for a **interferência na célula I_{or}** , **melhor** será a cobertura do sistema.

Nas *Figuras 7,8 e 9* é possível observar os **gráficos de cobertura** para os **diferentes ritmos binários** definidos.

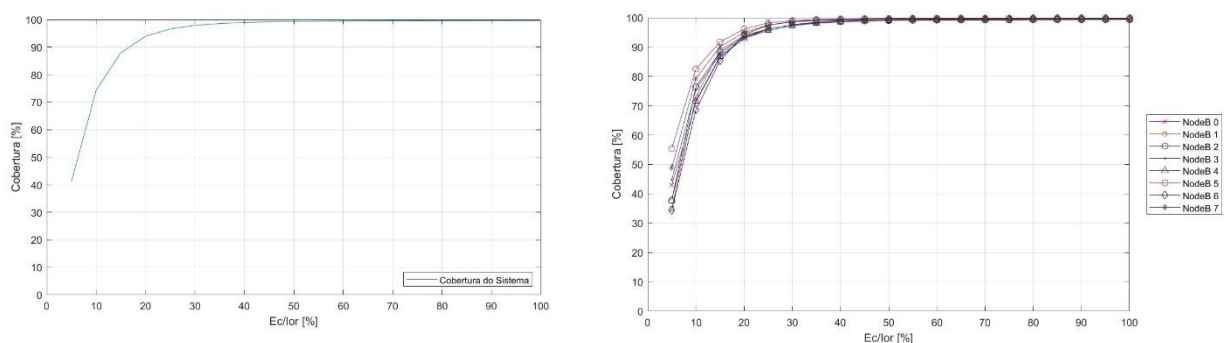


Figura 7 –Gráficos Cobertura para Ritmo Binário de 156 Kbit/s (A1).

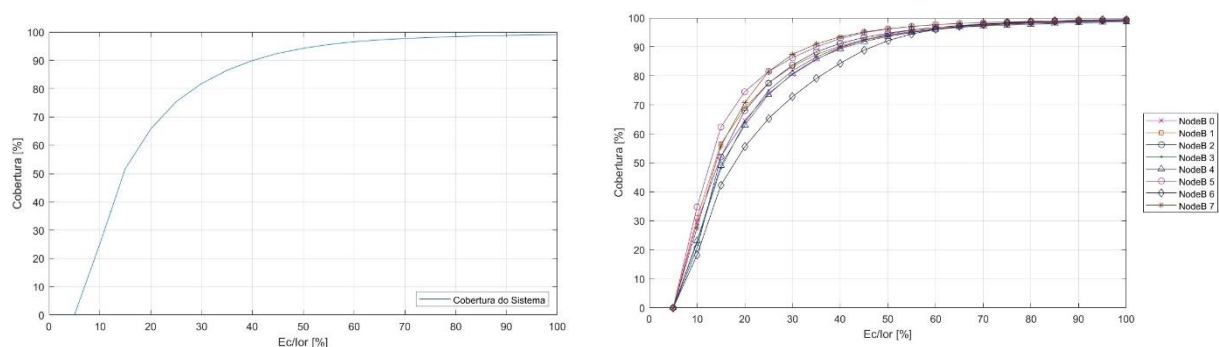


Figura 8 –Gráficos Cobertura para Ritmo Binário de 616 Kbit/s (B1).

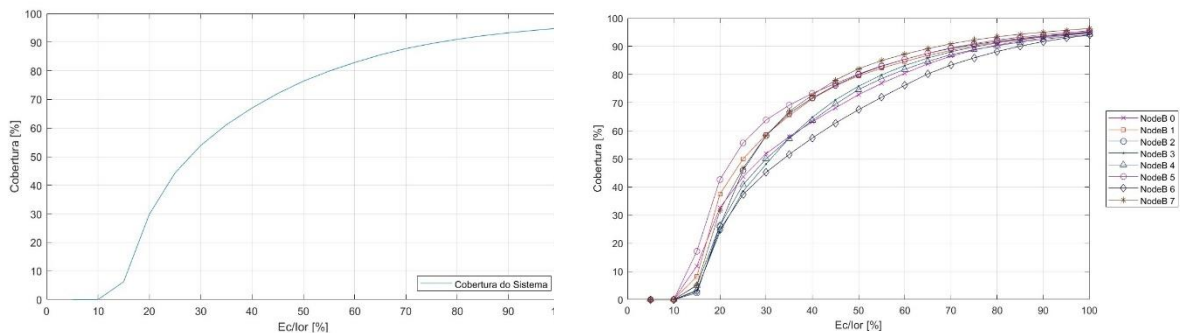


Figura 9 – Gráficos Cobertura para Ritmo Binário de 1512 Kbit/s (C1).

Consegue concluir-se assim também que as **BS's 5 e 7** são as que **mais cobertura** dão em média em todas as simulações e as **BS's 4 e 6** são as que **menos cobertura** dão em média em todas as simulações.

Através da observação das *Figuras 7,8 e 9* foi possível a realização da *Tabela 5* com os **valores de cobertura** consoante a percentagem da relação E_c/I_{or} . Quanto **maior** o **ritmo binário**, **menor** a **cobertura** dada.

E_c/I_{or} [%]	Ritmo Binário [Kbit/s]		
	156	616	1512
20	93.916	65.7016	29.8467
40	98.9521	89.938	66.9837
60	99.427	96.588	82.8823
80	99.517	98.4115	91.018
100	99.6069	99.1053	94.9202

Tabela 5 – Valores de Cobertura, para o grupo 21.

7 Zonas Mortas e Zonas de Bloqueio

Foram atribuídos **8 BS's ao grupo 21**, assim, sabendo que **8/2 são BS's de outra operadora de telecomunicações**, significa que cada uma delas tem **4 BS's**. Assim, irá ser feito um estudo de **zonas mortas para as 4 BS's da nossa operadora** e um estudo de **zonas de bloqueio para as 4 BS's da concorrência**. É considerado um **ritmo binário de 64 Kbit/s** neste estudo.

7.1 Zonas Mortas

Após a realização do estudo para o cálculo das zonas mortas, que está explicado no Anexo B – Estudo Zonas Mortas, foi escolhido primeiramente as **4 BS's que foram disponibilizadas para o nosso operador de telecomunicações**. Os BS's foram escolhidos de modo a **maximizar a cobertura**. As **zonas mortas**, são regiões onde **não existe cobertura suficiente para o estabelecimento de ligações móveis**, devido ao facto de o sinal da rede de rádio ter uma intensidade baixa. A *Figura 10*, demonstra as **perdas de propagação**. Sendo que são consideradas **zonas mortas, regiões onde as perdas de propagação (L_{prop}) sejam maiores ou iguais a 144 dB**. Assim as zonas **castanhas escuras e pretas** na *Figura 10*.

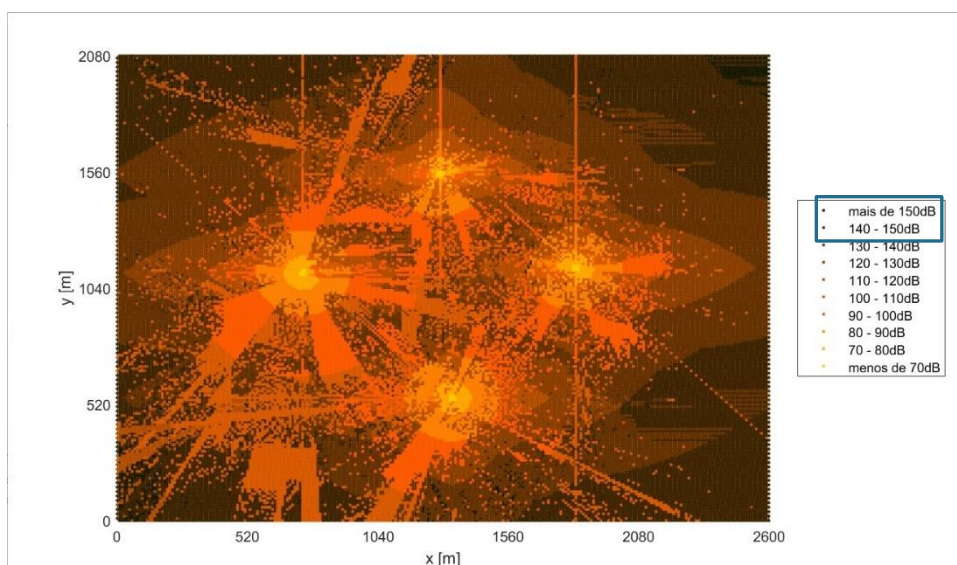


Figura 10 – Zonas Mortas do grupo 21.

7.2 Zonas de Bloqueio

Após a realização do estudo para o cálculo das zonas de bloqueio, que está explicado no *Anexo C – Zonas de Bloqueio*, foi escolhido primeiramente os **4 BS's que foram disponibilizados ao outro operador de telecomunicações**. As **zonas de bloqueio**, são regiões onde as **ligações móveis ficam propensas a bloquearem**, devido ao facto de os dispositivos móveis estarem longe das BS's da sua operadora de telecomunicações, mas perto das BS's da operadora de telecomunicações concorrente. A *Figura 11*, demonstra as perdas de propagação. Sendo que são consideradas zonas de bloqueio, regiões onde as **perdas de propagação (L_{prop}) sejam menores ou iguais a 68 dB**. Assim as zonas **amarelas** na *Figura 11*.

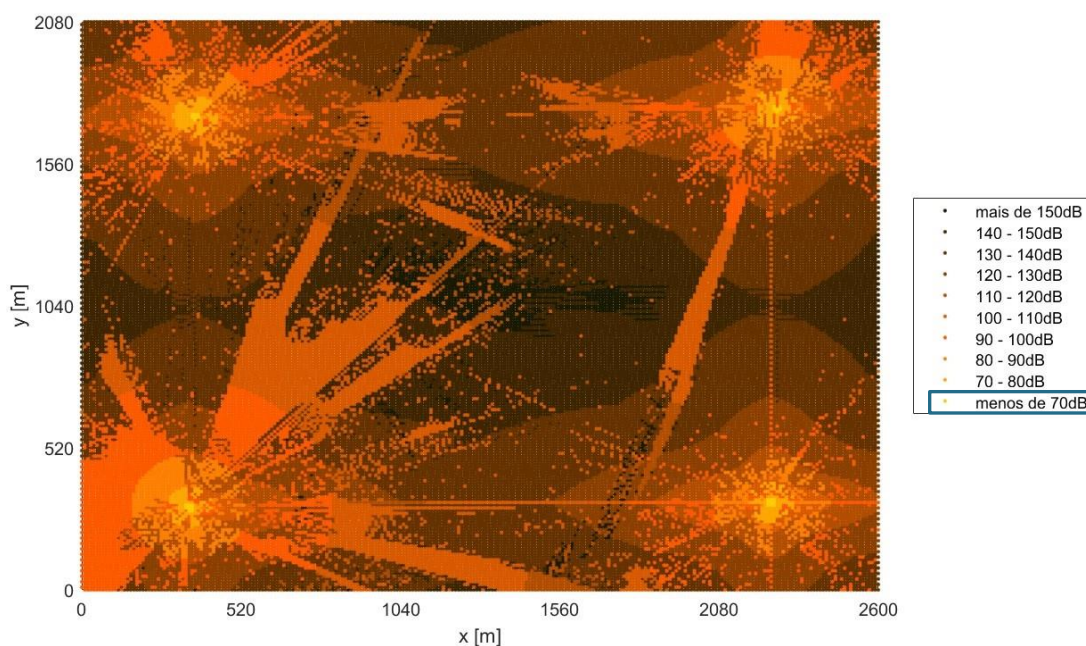


Figura 11 –Zonas de Bloqueio do grupo 21.

8 Conclusão

Após a realização deste projeto de planeamento de uma **rede rádio para a zona de Lisboa em torno do ISCTE-IUL**, foi possível chegar a algumas conclusões.

Quanto **maior é o ritmo binário utilizado, menor é a eficiência**, o que leva a **menor cobertura** de regiões, **menor throughput**, logo consequentemente um **pior serviço de telecomunicações**. Quantas **mais BS's** uma rede rádio tenha, **melhor** a sua **eficiência, throughput, cobertura** e claro, **serviço prestado**.

Neste caso específico dos dados do nosso grupo, foi possível verificar no estudo das **zonas de bloqueio**, que estas correspondem a regiões que se encontram a uma **distância muito pequena às BS's da concorrência**. Foi possível também observar as **zonas mortas**, sendo por isso nessas zonas **necessário a colocação de BS's** lá, de modo a que a **cobertura aumentasse, minimizando** (ou acabando se possível) as **zonas mortas** no sistema.

Em suma, o **ritmo binário** que deveria ser escolhido deveria ser o de **616 Kbit/s (B1)**. Pois embora a **eficiência do de 116 Kbit/s (A1)** seja ligeiramente superior (**95.26% VS 94.33%**), a diferença de **throughput** é tão **grande** que a diferença **mínima de eficiência** não faz com que se deva escolher a opção A1 em detrimento da **B1**.

9 Bibliografia

Correia, A. (2023), Slides das Aulas. Em SCSFM, *moodle*.

Cox, C. (mar 2012), LTE,LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications. Em Cox, C *An Introduction to LTE*. Wiley 2ª Edição.

10 Anexos

10.1 Anexo A – Escolha de BS's

As posições escolhidas neste estudo para os BS's, tiveram em conta as **8 pedidas** no enunciado, e sabendo que existe **3 ligações entre as BS's e os dispositivos móveis**, de modo a ter uma a melhor cobertura possível em torno do ISCTE-IUL.

Assim, foi realizada a seguinte distribuição de modo a ter um **losango** dentro de um **quadrado** o em torno no ISCTE-IUL como é demonstrado na *Figura 12*.

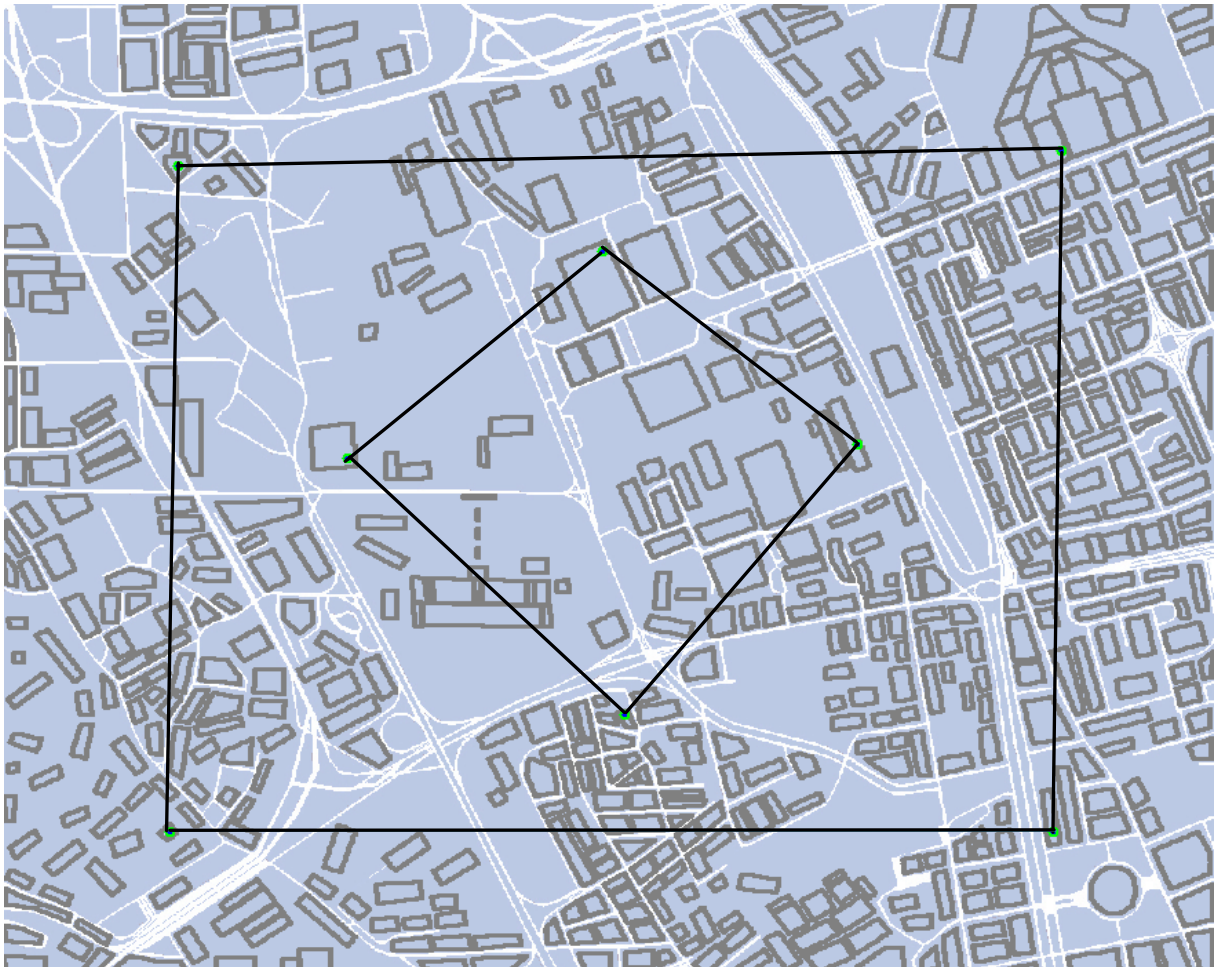


Figura 12 –Distribuição das BS's do grupo 21.

10.2 Anexo B – Estudo Zonas Mortas

Para a realização dos cálculos para as **zonas mortas** teve que se seguir a seguinte Fórmula 3:

$$L_{prop} = 10 \log(Pt) - 10 \log (Pr)$$

Fórmula 3 –Fórmula para cálculo da perda de Propagação.

Sabendo, através do **exercício 42 resolvido na aula** que:

- $10 \log(Pt) = 23 \text{ dBm}$
- $10 \log(Pr) = -121 \text{ dBm}$

E sabendo que se considera uma região uma zona morta quando a **região tenha uma perda de propagação maior** que:

$$L_{prop} = 10 \log(Pt) - 10 \log(Pr) \Leftrightarrow L_{prop} = 23 - (-121) \Leftrightarrow L_{prop} = 144 \text{ dB}$$

Assim, se $L_{prop} > 144 \text{ dB}$, a região é considerada uma zona morta.

Na *Figura 13*, é possível observar **que BS's foram escolhidas como BS's da nossa operadora** utilizadas para o cálculo das **zonas mortas**.



Figura 13 –Posição dos BS's para as Zonas Mortas do grupo 21.

10.3 Anexo C – Estudo Zonas de Bloqueio

Para a realização dos cálculos para as **zonas de bloqueio** teve que se seguir a seguinte Fórmula 4:

$$L_{prop} = 10 \log(P_i) - [10 \log(P_n) + 10 \log(M_i)]$$

Fórmula 4 – Fórmula para cálculo da perda de Propagação.

Sabendo, através do **exercício 42 resolvido na aula** que:

- $10 \log(P_i) = -17 \text{ dBm}$
- $10 \log(P_n) = -100 \text{ dBm}$
- $10 \log(M_i) = 15 \text{ dB}$

E sabendo que se considera uma região uma zona de bloqueio quando a **região tenha uma perda de propagação menor** que:

$$L_{prop} = 10 \log(P_i) - [10 \log(P_n) + 10 \log(M_i)] \Leftrightarrow L_{prop} = -17 - (-100 + 15) \Leftrightarrow L_{prop} = 68 \text{ dB}$$

Assim, se **$L_{prop} < 68 \text{ dB}$** , a região é considerada uma zona de bloqueio.

Na *Figura 14*, é possível observar **que BS's foram escolhidas como BS's da operadora concorrente** utilizadas para o cálculo das **zonas de bloqueio**.



Figura 14 – Posição dos BS's para as Zonas de Bloqueio do grupo 21.